

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **1 312 707**

21 Número de solicitud: 202231631

51 Int. Cl.:

G01C 11/00 (2006.01)

G01C 11/02 (2006.01)

F16M 11/08 (2006.01)

B25H 1/00 (2006.01)

12

SOLICITUD DE MODELO DE UTILIDAD

U

22 Fecha de presentación:

06.10.2022

43 Fecha de publicación de la solicitud:

30.01.2025

71 Solicitantes:

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA (100.00%)

Avenida Cervantes, 2

29071 Málaga (Málaga) ES

72 Inventor/es:

MORAGA TORRES, Guillermo Salvador;

MARTÍN SÁNCHEZ, María Jesús y

MARTÍN FERNÁNDEZ, Francisco De Sales

74 Agente/Representante:

MÁRQUEZ SEGURA, Enrique

54 Título: **Plataforma rotatoria automatizada para la reconstrucción tridimensional mediante fotogrametría**

ES 1 312 707 U

DESCRIPCIÓN

Plataforma rotatoria automatizada para la reconstrucción tridimensional mediante fotogrametría

SECTOR DE LA TÉCNICA

- La reconstrucción tridimensional es una tecnología cada vez más demandada hoy en día,
5 lo que ha motivado el desarrollo de diversas técnicas de escaneo 3D adaptadas a las dimensiones y características de los objetos a reconstruir. La fotogrametría es la técnica cuyo objetivo es obtener información precisa acerca de la posición, las dimensiones y la forma de un objeto cualquiera a través de la medición de múltiples fotografías capturadas desde distintos ángulos.
- 10 Aunque tradicionalmente se ha empleado para definir elementos topográficos de grandes dimensiones, el desarrollo de software especializado y la necesidad de digitalizar objetos de forma rápida y económica han motivado que la fotogrametría sea una técnica cada vez más empleada a la vez que accesible. Sin embargo, debido a las limitaciones de la fotografía macro, la fotogrametría es usada casi exclusivamente cuando las tolerancias
15 necesarias son de al menos varios milímetros. El objeto de la presente invención es una plataforma rotatoria automatizada para la aplicación de la fotogrametría a objetos de dimensiones muy reducidas donde el grado de precisión necesario esté en el orden de las micras.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

- 20 La reconstrucción o digitalización tridimensional agrupa una serie de tecnologías utilizadas para describir la toma de información 3D de la superficie de un determinado objeto reuniendo datos de su forma y ocasionalmente su color. Estas tecnologías son utilizadas en diversos campos de la ingeniería, pero también han encontrado aplicaciones en otros ámbitos como la arqueología, la arquitectura y la producción de películas y
25 videojuegos.

Para la reconstrucción tridimensional se usan habitualmente escáneres 3D, dispositivos cuyo propósito es el de crear una nube de puntos a partir de mediciones realizadas en la superficie del objeto que se esté escaneando y, con estos puntos, extrapolar la forma del objeto en cuestión. Existen diversas tecnologías de reconstrucción tridimensional o

digitalización 3D que generalmente se dividen en dos grandes categorías: los métodos sin contacto y los métodos con contacto. Dentro de los métodos sin contacto se incluyen técnicas de rayos X, técnicas ópticas, técnicas de radar y técnicas sónicas; dentro de los métodos con contacto se incluyen técnicas destructivas (corte o seccionado) y no destructivas (máquinas MMC, brazos articulados).

Dentro de las técnicas ópticas se distinguen técnicas activas y técnicas pasivas, como la microscopía confocal y la fotogrametría. La técnica de la fotogrametría es una forma de georreferenciar y reconstruir tridimensionalmente un objeto a partir de mediciones realizadas sobre fotografías de ese objeto sin que haya nunca un contacto directo con él.

En la figura 1 se representan las etapas que engloban al proceso fotogramétrico.

Dentro de la fotogrametría se hacen principalmente dos clasificaciones: (i) en función del número de imágenes y (ii) en función de la posición de la cámara y la distancia al objeto. En relación con (i), se distingue fotogrametría con una sola imagen (procesado de una sola imagen), fotogrametría estereoscópica (procesado de pares de imágenes estereoscópicas) y fotogrametría (procesado de más de dos imágenes). En relación con (ii), se distingue fotogrametría espacial (imágenes obtenidas desde satélites), fotogrametría aérea (imágenes obtenidas desde plataformas aerotransportadas), fotogrametría terrestre (imágenes obtenidas desde la superficie terrestre), fotogrametría de objeto cercano (imágenes obtenidas a una distancia inferior a 300 m, empleada en objetos con un tamaño de entre 0,1 y pudiendo alcanzar una resolución de hasta 0,1 mm), macro-fotogrametría (imágenes de microscopio) y cartografía móvil (adquisición de datos desde vehículos en movimiento).

En el contexto de la presente invención se utilizan técnicas ópticas, concretamente técnicas ópticas pasivas, más concretamente la fotogrametría de objeto cercano, más concretamente aún la fotogrametría de objeto cercano multi-imagen.

Un factor muy importante a la hora de realizar fotogrametría de objeto cercano es la textura superficial del objeto: las superficies que se escaneen deben de tener una textura heterogénea donde se puedan encontrar fácilmente puntos de referencia, los objetos lisos o brillantes no son adecuados para ser escaneados mediante esta técnica sin que sus superficies sean tratadas con anterioridad.

Otro aspecto relevante, que será el que limite el tamaño de los objetos que se quiera digitalizar y la resolución de las reconstrucciones, es el enfoque. La profundidad de campo se define como la distancia entre el objeto más cercano y el más alejado que aparecerán suficientemente nítidos en una fotografía, depende de la longitud focal, la
 5 apertura del diafragma y la distancia de enfoque y está regido por la fórmula

$$DoF \approx \frac{2NcF^2d^2}{F^4 - N^2c^2d^2}$$

donde DoF es la profundidad de campo (*Depth of Field*), N es la apertura del diafragma, F la longitud focal, c el círculo de confusión y d la distancia al objeto. Como se puede observar la profundidad de campo es directamente proporcional al tamaño del modelo e
 10 inversamente proporcional a la distancia al objeto y la longitud focal por lo que, si queremos fotografiar objetos pequeños a una distancia muy pequeña con un detalle considerable, solo una parte pequeña de ese objeto estará dentro del rango de enfoque. La única forma de evitar esto es usando aperturas de diafragma muy pequeñas que limiten la cantidad de luz que llega al sensor. En la figura 2 se representa la profundidad de campo
 15 en un objeto fotografiado desde dos posiciones distintas.

Es importante mencionar que, para realizar un correcto escalado geométrico, se debe establecer correctamente la distancia entre dos puntos conocidos del modelo reconstruido ya que mediante la fotogrametría no se obtienen datos absolutos de distancias entre puntos. Un método habitual es colocar elementos de referencia como reglas junto a los
 20 modelos que se quieran reconstruir.

Una ventaja de la fotogrametría respecto a otras técnicas de reconstrucción tridimensional es que además de datos geométricos con la fotogrametría también se obtienen datos de color por lo que se pueden reconstruir los objetos con su textura original. Sin embargo, el principal beneficio de la fotogrametría es su bajo coste ya que es una técnica que se puede
 25 aplicar usando cámaras digitales de todo tipo.

EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

En los últimos años se han desarrollado diversas técnicas de digitalización tridimensional de objetos tanto de pequeña como de gran escala que han supuesto un gran avance en el

mundo de la ingeniería. Sin embargo, estas tecnologías están generalmente fuera del alcance de la mayor parte del público ya que requieren de equipos altamente especializados y personal cualificado para operarlos.

- La fotogrametría aérea es una técnica que tradicionalmente se ha empleado en cartografía
- 5 e ingeniería geomática aplicada a grandes extensiones de terreno. En la actualidad, los avances en fotografía digital y la creación de software especializado han permitido el desarrollo de la fotogrametría de objeto cercano que es un método de reconstrucción 3D mucho más accesible para el escaneado tridimensional de objetos de pequeña escala que sus alternativas.
- 10 Conforme a lo anterior, el objeto de la presente invención es una plataforma rotatoria automatizada para la reconstrucción tridimensional mediante fotogrametría caracterizada por que comprende una plataforma, medios para controlar el movimiento de rotación de la plataforma y medios de comunicación con los medios de adquisición de imágenes. En una realización más preferida, dicha plataforma rotatoria comprende además medios para
- 15 configurar el número de fotografías a realizar durante un giro completo de la plataforma y el intervalo de tiempo a transcurrir entre fotografía y fotografía.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

- Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una
- 20 mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Etapas del proceso fotogramétrico. Objeto (O), Modelo de Objeto (MO); sistema de obtención de imagen (A), adquisición de imagen (a), sistema de medición de

25 imagen (B), medición de imagen (b), sistema de procesado de imagen (C), reconstrucción del objeto (c).

Figura 2.- Representación de la profundidad de campo en un modelo desde distintas posiciones.

Figura 3.- Diseño final de la plataforma rotatoria según una realización preferente de la

30 invención, vista en perspectiva.

Figura 4.- Diseño final de la plataforma rotatoria según una realización preferente de la invención, vista en planta indicando el eje de corte para la vista en corte de sección A-A representada en la figura 5. Botón (1), perillas (2), lateral derecho (3), carcasa superior (4), plataforma (5), lateral izquierdo (6).

- 5 Figura 5.- Diseño final de la plataforma rotatoria según una realización preferente de la invención, vista en corte de sección (sección A-A). Carcasa inferior (7), marca plataforma (8), engranaje (9), semiejes (10), acoplamiento plataforma (11), tapa carcasa superior (12), tapa batería (13), soporte motor (14), alojamiento rodamientos (15).

Figura 6.- Modelos seleccionados para el estudio de validación.

10

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

- A continuación, se procede a exponer, a título ilustrativo no limitativo, un ejemplo de realización de la invención incluyendo el diseño, desarrollo e implementación de una plataforma giratoria automatizada adecuada para la realización de fotografías de objetos
- 15 de pequeño tamaño desde diversos ángulos con la finalidad de reconstruirlos tridimensionalmente mediante la técnica de la fotogrametría de objeto cercano.

El ejemplo de realización aquí descrito consiste en una plataforma rotatoria automatizada y sincronizada con una cámara réflex que permite realizar fotografías alrededor del objeto que se quiere digitalizar en 3D.

- 20 En primer lugar, se creó un prototipo conceptual que permita determinar el diseño de la parte electrónica de la plataforma rotatoria y comprobar su correcto funcionamiento. Una vez se determinaron y validaron los componentes electrónicos necesarios se diseñó la estructura interna y la carcasa que albergaría a estos componentes. Las distintas partes diseñadas se fabricaron mediante técnicas aditivas. Estas piezas fueron combinadas con
- 25 los componentes electrónicos y mecánicos escogidos componiendo un diseño modular fácilmente modificable que permite realizar cambios a medida que se pone a prueba su funcionamiento.

- Tras la fabricación de la plataforma rotatoria se crearon y prepararon modelos de distintos grados de complejidad geométrica y características superficiales que permitieron
- 30 posteriormente evaluar la eficacia de esta herramienta. Algunos de estos modelos fueron creados mediante tecnología de fabricación aditivas y otros fueron escogidos entre objetos ya existentes.

Una vez se hubieron preparado los objetos a digitalizar estos fueron fotografiados usando la plataforma rotatoria y una cámara profesional réflex junto con un objetivo macro. Las fotografías fueron editadas usando software de edición fotográfica y tras esto se procesarán por medio de un software especializado de fotogrametría que permitió la
5 creación de los modelos tridimensionales.

Por último, se realizó un análisis de los resultados logrados comparándolos con escaneos 3D de referencia obtenidos mediante el uso de un escáner profesional. Con los datos conseguidos en esta última fase se pudo validar la eficacia de la plataforma rotatoria en la captura de imágenes y determinar los valores alcanzados en cuanto a resolución y
10 precisión.

Diseño

Aunque una plataforma rotatoria en la cual gira el modelo a escanear es el método más usado en el estado de la técnica, también se conoce el uso de otros sistemas donde el objeto permanece estático y lo que se desplaza es la cámara, si bien en este caso se optó
15 por dejar la cámara estática debido a que los modelos a reconstruir son de dimensiones y peso muy reducidos mientras que la cámara fotográfica puede llegar a pesar varios kilos en función de su tipo.

Este peso añadido en el cuerpo a desplazar supondría unos requisitos técnicos mayores que habrían implicado tener que buscar métodos de fabricación y materiales más costosos
20 que los que se usaron finalmente para la construcción de la plataforma. Los resultados por otra parte no habrían variado de manera significativa ya que la posición relativa entre la cámara y el modelo habría sido la misma y por tanto las fotografías que se capturasen para las reconstrucciones tridimensionales serían similares.

Una vez establecido el método de funcionamiento que tendría la herramienta se definieron
25 las principales necesidades del diseño:

- La plataforma deberá rotar el objeto un número determinado de veces en el eje Z, deteniéndose el tiempo necesario para poder capturar la fotografía antes de avanzar hasta la siguiente posición.
- La plataforma deberá estar conectada de alguna manera con la cámara DSLR para
30 poder enviarle la orden de tomar una fotografía cada vez que el objeto alcance una de las posiciones deseadas.

- El usuario podrá configurar el número de fotografías que desea capturar y el intervalo de tiempo que la plataforma deberá esperar hasta avanzar a la siguiente posición, además de poder empezar y parar el proceso cuando así lo desee.
- La plataforma debe de ser fácil de usar y configurar para optimizar al máximo el proceso, además deberá contar con una batería interna que permita su uso en lugares donde no exista una toma de corriente.

Una vez definidos los criterios de diseño y las características del producto se hizo una búsqueda de los componentes electrónicos que dotarían de funcionalidad a la plataforma rotatoria. El diseño de la electrónica se basó en la placa microcontroladora Arduino debido a que es la plataforma de prototipado más extendida en la actualidad y existen infinidad de librerías de código y dispositivos periféricos compatibles con la misma, propiciando una gran flexibilidad a la hora de escoger el resto de los componentes de la máquina y realizar posibles modificaciones. En concreto, se utilizó una placa Arduino Nano v3, una placa electrónica programable basada en el procesador Atmega328, que posee un conector USB Mini-B que permite su conexión a un ordenador para programarla y es ideal para pequeños proyectos donde el coste y el tamaño son esenciales. Sus características aparecen reflejadas en la tabla 1.

Arduino Nano v3.0	
Microcontrolador	Atmega328
Tensión de Operación (nivel lógico):	5V
Tensión de Entrada (recomendado)	7-12V
Pines E/S Digitales:	14 (6 salidas PWM)
Entradas Analógicas	8 (A0-A7)
Corriente DC por Pin I/O	40 mA
Memoria Flash	32 KB (2 KB usados por el <i>bootloader</i>)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia de Reloj	16 MHz
Chip de comunicaciones USB	CH340
Dimensiones	18 mm x 44 mm

Tabla 1.- Características de la placa Arduino Nano v3.

Las fotografías fueron tomadas con una cámara profesional de formato réflex (o DSLR por sus siglas en inglés), en concreto una Nikon D3200, modelo de hace más de 10 años que no incorpora tecnologías inalámbricas como Bluetooth o Wifi por lo que las únicas opciones eran usar un cable o un diodo LED infrarrojo para enviar la señal, optándose finalmente por usar señales de luz infrarrojas. En cualquier caso, es evidente que una realización ideal sería aquella en la que la conexión entre cámara y plataforma fuera inalámbrica.

El siguiente componente escogido fue el motor, optando por un motor a pasos 28BYJ-48 controlado por el chip ULN2003. Aunque existen otros tipos de motores como los sin escobillas, los motores DC o los servomotores se optó por usar uno a pasos debido al mayor grado de precisión que se puede obtener con ellos además de su gran par motor.

Este modelo de motor incluye una caja de cambios interna con una relación 1/64 que proporciona 2038 posiciones en una sola vuelta, logrando una precisión más que suficiente para la plataforma rotatoria. Además, su reducido tamaño y peso lo hacen ideal para este proyecto. Las características de este motor y su adaptador aparecen listadas en la tabla 2.

Motor 28BYJ y adaptador ULN2003A	
Tecnología	Motor paso a paso
Tensión nominal	DC5V en 4 fases
Resistencia de aislamiento	10M Ω (500V)
Rigidez dieléctrica	600V AC / 1mA / 1s
Ángulo del escalón	5.625 x 1/64
Resistencia CC	200 Ω $\pm$ 7% (25C)
Relación de reducción	1/64
Grado de aislamiento	A
Frecuencia de carga sin carga	600Hz
Frecuencia de extracción sin carga	1000Hz
Tensión en el par	34.3mN.m (120Hz)
Par de retención	34.3mN.m
Aumento de la temperatura	40K (120Hz)

Tabla 2.- Características del Motor 28BYJ y adaptador ULN2003A.

Como fuente de alimentación se decidió emplear una batería de litio que pudiera otorgar movilidad y facilidad de uso al producto. La batería empleada fue una célula estándar modelo 18650 controlada por un módulo de protección y carga TP4056. Este circuito permite recargar la batería hasta 4,2V con una corriente de carga de 1^a. Además, el
 5 módulo cuenta con un USB Tipo C que convierte a la plataforma en un dispositivo compatible con cualquier cargador estándar de móvil.

Para lograr un voltaje continuo de 5V capaz de alimentar a la placa Arduino y al resto de componentes se optó por usar un módulo elevador de tensión ajustable de DC a DC MT3608. Este circuito es capaz de convertir cualquier voltaje de entrada entre 2V y 24V
 10 en un voltaje de salida configurable entre 5V y 28V con una corriente máxima de salida de 2 amperios.

El siguiente componente electrónico elegido fue la pantalla que mostraría la configuración y el estado de la sesión fotográfica. Como la información a mostrar no es excesivamente extensa se escogió una de las opciones más simples posible, una pantalla
 15 LCD de 2 líneas de 16 caracteres, en concreto una pantalla 1602 con un módulo PCF8574. Este módulo integrado es capaz de simplificar las comunicaciones con la placa Arduino usando el protocolo de comunicación I2C, disminuyendo considerablemente el número de pines necesarios.

Además de los componentes mencionados, se emplearon dos potenciómetros y un
 20 pulsador que permiten al usuario ajustar los parámetros de funcionamiento de la plataforma rotatoria e iniciar el movimiento.

El funcionamiento del circuito diseñado se puede resumir de la siguiente manera:

- Una batería de iones de litio alimenta al circuito de protección y regulación de carga. El voltaje de salida de este componente es regulado a 5V constantes
 25 mediante el módulo elevador de voltaje.
- La salida de 5V está directamente conectada a la placa Arduino Nano y al controlador de motor paso a paso ULN2003. El resto de los componentes (pantalla, potenciómetros y pulsador) reciben la alimentación desde la salida de 5V de la placa Arduino para disminuir de esa manera las oscilaciones que podría
 30 introducir el motor y lograr un voltaje más estable.

- Se usan 2 salidas digitales de la placa Arduino Nano para controlar la pantalla 1602, 4 salidas digitales para controlar el motor a pasos, y 1 salida digital para controlar el LED Infrarrojo.
- Cada potenciómetro y pulsador van conectados a una entrada analógica de la placa Arduino Nano. El pulsador incorpora una resistencia *pull-up* para poder detectar cuando no se está apretando el botón.

Para controlar el movimiento de la plataforma rotatoria, la interfaz de usuario y la conexión a la cámara se escribió y se compiló un programa usando el software Arduino IDE y el lenguaje de programación C++. El código escrito se puede dividir en 3 subprogramas en los que se ejecutan las siguientes funciones de “Inicio/bienvenida”, “Configuración” (mediante potenciómetros el usuario puede ajustar los parámetros de número de fotografías e intervalo de tiempo entre ellas), “Rotación/captación de imágenes” (la plataforma rota el número especificado de veces hasta dar una vuelta completa al modelo a digitalizar; cada vez que la plataforma gira el número de grados necesarios esta se detiene, envía la señal infrarroja a la cámara y espera el tiempo especificado para avanzar hasta la siguiente posición).

Una vez establecido el diseño del circuito electrónico y los componentes a utilizar se integraron dichos componentes en una carcasa de forma que el tamaño del dispositivo pudiera ser lo más compacto posible (figura 3), para lo que, en un extremo se alojarían el microcontrolador, los elementos de la interfaz de usuario y otros componentes como el módulo regulador de voltaje y el módulo controlador del motor a pasos; en una zona intermedia se ubicaría el motor, con un piñón y un engranaje conectados a un eje para de esta manera evitar trasladar el peso de los objetos a escanear y de la plataforma directamente al motor; y en el otro extremo se ubicaría la batería de litio en un compartimento cerrado junto con su circuito de protección y carga, por lo que, en la carcasa habría una abertura para el puerto de carga y un interruptor para poder encender y apagar el dispositivo.

El diseño final no solo es compacto sino también modular. Todos los componentes se pueden retirar fácilmente para permitir realizar un proceso iterativo en el que sea fácil ajustar distintos parámetros a medida que se fabrican y se ensamblan las distintas piezas. Algunas características que hacen modular a este diseño son:

- La parte rotatoria de la máquina es fácilmente intercambiable sin el uso de herramientas ya que está sujeta por imanes al eje de rotación. Esto permitirá crear plataformas de distintos tamaños en función del objeto que se quiera escanear.
- 5 • La parte superior de la carcasa se puede retirar por completo con los potenciómetros, botón, diodo LED y pantalla LCD incluidos. Estos componentes están conectados al resto del circuito mediante un conector que permite separarlos y, además, solamente hay que retirar un tornillo para hacerlo.
- 10 • Todas las piezas están sujetas mediante tornillos incluidos los laterales y los distintos circuitos impresos. De esta manera se facilita que en caso de rotura o modificaciones en alguna de las partes estas se puedan sustituir sin afectar al resto de la máquina.
- 15 • La batería de litio 18650 se encuentra en un compartimento cerrado por una tapadera y aislada del resto de componentes. Pese a ello su retirada y sustitución es muy fácil ya que al quitar la parte superior de la carcasa se obtiene acceso a ella.

Fabricación

Para la fabricación de las probetas se ha optado por usar filamento PLA reciclado de colores blanco marfil y negro carbón (tabla 2) junto con otro filamento compuesto por PLA y fibras de madera de pino (tabla 3), ambos del fabricante Smart Materials.

- 20 El diseño de las piezas impresas en 3D ha sido realizado exclusivamente en SolidWorks 2022, que es un software de diseño CAD para modelado mecánico en 2D y en 3D desarrollado por Dassault Systems para el sistema operativo Microsoft Windows.

Una vez diseñadas las distintas partes de la plataforma rotatoria en SolidWorks se procedió a procesar los archivos STL en Ultimaker Cura para enviarlos a la impresora 3D. Tanto para fabricar las piezas de la plataforma rotatoria como los modelos que se usarían para ponerla a prueba se ha empleado una impresora 3D Ender 3 v2 del fabricante Creality. El perfil de impresión que se usó fue el que se aplica por defecto con una altura de capa de 0,2 mm y un relleno del 30%, aunque algunas piezas como las perillas de los potenciómetros, el eje y el botón se imprimieron con un relleno del 100% para otorgarles
30 más durabilidad.

SMARTFIL - PLA RECYCLED			
PROP. FÍSICAS	Densidad	1,24 g/cm ³	UNE-EN ISO 1183-1
	Composición	Ácido Poliláctico	
PROP. IMPRESIÓN	Temperatura de impresión	200-220 °C	
	Temperatura de cama caliente	0 – 60 °C	
	Ventilador	Encendido (100%)	
PROPIEDADES MECÁNICAS	Resistencia de tracción	60 MPa	UNE-EN ISO 527-1
	Módulo de tracción	3600 MPa	UNE-EN ISO 527-1
	Alargamiento a la tracción	≤ 6%	UNE-EN ISO 527-1
	Impacto Charpy con entalla 23°C	≤ 5 kJ/m ²	UNE-EN ISO 179-1eA
PROP. TÉRM.	HDT B	55 °C	
	Vicat	60 °C	
PROP. ALMA.	Formato	Bobina de 750 g	
	Peso bruto	1065 g	
	Peso neto	750 g	
	Diámetro	1,75 mm	

Tabla 4.- Características técnicas del PLA blanco y negro empleado.

PROP. FÍSICAS	Densidad	1,09 g/cm ³	UNE-EN ISO 1183-1
	Composición	Compuesto de PLA con madera de pino	
PROP. IMPRESIÓN	Temperatura de impresión	200-230 °C	
	Temperatura de cama caliente	40 – 60 °C	
	Ventilador	Encendido (100%)	
PROPIEDADES MECÁNICAS	Resistencia de tracción	32,4 MPa	UNE-EN ISO 527-1
	Módulo de tracción	2944 MPa	UNE-EN ISO 527-1
	Alargamiento a la tracción	≤ 1,2 %	UNE-EN ISO 527-1
	Impacto Charpy con entalla 23°C	-	-
PROP. TÉRM.	HDT B	-	
	Vicat	-	
PROP. ALMA.	Formato	Bobina de 750 g	
	Peso bruto	1065 g	
	Peso neto	750 g	
	Diámetro	1,75 mm	

Tabla 5.- Características técnicas del PLA de madera empleado.

Validación

Para la validación de la plataforma rotatoria automatizada el siguiente paso fue la preparación de distintos modelos que permitieran poder evaluar su correcto funcionamiento. Se seleccionaron 4 modelos (figura 6) con distintas propiedades geométricas y superficiales:

1. Un cubo de calibración impreso en 3D. Para fabricar este cubo de 20 mm de lado se empleó el mismo filamento que para los laterales de la plataforma rotatoria ya que las fibras de madera le otorgan una textura superficial que lo hacen ideal para ser reconstruido mediante fotogrametría.

2. Una figura de un lobo impresa en 3D. Esta figura de 36 mm de altura presenta una geometría más compleja que la del cubo, también fue impreso en 3D usando el mismo material.
3. Una pinza pequeña de madera. Este objeto de 35 mm de altura cuenta con una geometría poco compleja, pero tiene orificios que pueden representar un reto a la hora de ser reconstruidos mediante fotogrametría ya que es complicado fotografiar su interior. Gracias a su superficie de madera no hace falta darle un tratamiento superficial ya que puede ser fotografiada correctamente y el software podrá crear muchos puntos de referencia.
4. Una moneda de 10 céntimos, este modelo de 20 mm de diámetro se escogió debido a sus pequeños detalles. La superficie metálica de este objeto conllevará el tener que aplicarle un tratamiento superficial que elimine su reflectividad y a la vez le otorgue una textura capaz de ser correctamente interpretada por el software de fotogrametría.

Como tratamiento superficial para el modelo 4 (moneda de 10 céntimos) se optó por pintar el objeto entero de blanco con pintura en spray y después aplicarle pintura negra de forma que se quede un patrón moteado donde el software pueda crear distintos puntos de referencia.

El modelo de cámara elegido fue la Nikon D3200 con un objetivo Sigma EX DG Macro NAFD OS HSM de 105mm. Este objetivo permite una reproducción Macro 1:1 y cuenta con una distancia de trabajo de 142mm que permitirá realizar fotografías a los modelos desde muy cerca obteniendo una gran cantidad de detalles.

Los parámetros empleados en la cámara para la fotografía de todos los modelos fueron los siguientes:

- Apertura f22 – Este es el valor mínimo de apertura que se puede lograr con el objetivo Sigma escogido. Como se ha explicado anteriormente se debe de usar una apertura muy pequeña para lograr que la mayor superficie posible del objeto quede enfocada.
- Tiempo de exposición 1/50 segundos – Al usar trípode y poder ajustar el intervalo de tiempo entre fotos en la plataforma se podrían elegir tiempos más largos de

exposición pero interesa minimizar este valor para evitar que las fotos salgan distorsionadas debido a vibraciones.

- Sensibilidad ISO 100 – Usando el valor mínimo de ISO se podrán obtener fotografías con poco ruido que sean interpretadas mejor por el software de fotogrametría.
- Formato RAW – Este formato captura toda la información que llega al sensor sin aplicar ninguna compresión por lo que es ideal para poder subir el brillo de las zonas oscuras y lograr una iluminación más homogénea con la menor cantidad posible de sombras.

- 5
- 10 En lo que respecta al número de fotos, para todos los modelos se han realizado un total de 100 capturas divididas en dos anillos de 50 fotos cada uno, estando cada anillo a distinta altura y distancia del objeto.

Antes de poder ser importadas al software de fotogrametría, todas las fotografías fueron procesadas usando el software Lightroom Classic de Adobe.

- 15 El software empleado para realizar la reconstrucción tridimensional fue RealityCapture, desarrollado por la empresa Capturing Reality.

- Una vez importadas las fotografías a RealityCapture el primer paso del proceso fotogramétrico fue la alineación de estas. Durante esta fase inicial el programa busca puntos de referencia comunes en todas las fotos y a través de esos puntos calcula la posición de la cámara con relación al objeto en cada toma. Si existieran fotos que no estuvieran bien enfocadas o no sirvieran para realizar fotogrametría porque el programa no encontró puntos de referencia en ellas, estas serían descartadas y separadas del resto antes de realizar la alineación. Durante este primer paso también se genera la nube de puntos que servirá para reconstruir el modelo más tarde.
- 20

- 25 El segundo paso, dentro de RealityCapture, fue la reconstrucción del modelo, en la que la nube de puntos obtenida con anterioridad se une para formar una malla sólida. En esta fase se pueden ajustar un gran número de parámetros que definan la calidad final de la malla, pero en todos los modelos escaneados se mantuvieron los parámetros por defecto para así lograr la mayor uniformidad posible en los resultados.

El siguiente paso consistió en el coloreado y texturizado del modelo. Mediante la información tridimensional tanto del objeto como de la posición de las cámaras el software realiza una proyección de las imágenes 2D en el modelo para así darle el mismo aspecto que en la realidad.

- 5 El último paso sería la exportación de los modelos 3D en el formato deseado, pero antes de realizarlo es conveniente reducir el peso de la malla tridimensional. Todas las mallas de los escaneos realizados tenían varios millones de triángulos, lo que las hace muy difíciles de procesar en cualquier otro software debido a su excesiva calidad.

- 10 Para el análisis de los resultados todos los modelos fueron reducidos a 500000 triángulos, una cifra mucho más razonable. Otro detalle que tener en cuenta antes de realizar la exportación es el de aplicar una escala correcta a los modelos. Para este estudio simplemente se midió la distancia entre dos puntos determinados de cada modelo físico y se trasladó esta distancia al modelo virtual.

- 15 Para evaluar la eficacia de las reconstrucciones obtenidas mediante fotogrametría de objeto cercano estas serán comparadas con las realizadas con un escáner 3D profesional. El modelo de escáner elegido como referencia es un Dentalwings 7Series del fabricante Straumann. Este escáner de mesa está diseñado para digitalizar modelos dentales y funciona con tecnología láser, lo que le otorga una gran precisión a la hora de reconstruir objetos de pequeña escala.

- 20 En las siguientes tablas se mostrarán los resultados obtenidos para cada modelo, los datos que se incluirán son:

- Dimensiones del modelo.
 - Número de triángulos de la malla generada en RealityCapture (antes de reducirla).
 - Distancia media al escaneado de referencia y desviación estándar de estas
- 25 distancias.
 - Imágenes de las reconstrucciones obtenidas con texturas y sin ellas, salvo para el modelo 4 que no se ha texturizado porque al estar pintado no es relevante.
 - Imagen mostrando el mapa de desviaciones respecto al escaneado de referencia, generadas mediante el software CloudCompare. Se utilizarán distintas escalas de
- 30 colores en función de la precisión lograda para cada modelo.

MODELO 1 – CUBO	
DIMENSIONES	20,00 x 20,00 x 20,00 mm
NÚMERO DE TRIÁNGULOS	4,7 millones
DISTANCIA MEDIA	0,00997168 mm
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,0408851 mm

Tabla 9.- Resultados de la reconstrucción del modelo 1.

MODELO 2 – FIGURA DE UN ZORRO	
DIMENSIONES	20,84 x 36,71 x 26,98 mm
NÚMERO DE TRIÁNGULOS	8,1 millones
DISTANCIA MEDIA	-0,0204305 mm
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.0571679 mm

Tabla 10.- Resultados de la reconstrucción del modelo 2.

MODELO 3 – PINZA	
DIMENSIONES	12,39 x 9,49 x 35,48 mm
NÚMERO DE TRIÁNGULOS	2,4 millones
DISTANCIA MEDIA	0,0315635 mm
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,102698 mm

5

Tabla 11.- Resultados de la reconstrucción del modelo 3.

MODELO 4 – MONEDA DE 10 CÉNTIMOS	
DIMENSIONES	19,80 x 19,80 x 1,85 mm
NÚMERO DE TRIÁNGULOS	11,6 millones
DISTANCIA MEDIA	0,00031803 mm
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,010646 mm

Tabla 12.- Resultados de la reconstrucción del modelo 4.

Como se puede deducir de la tabla 9, para el modelo 1 se han obtenido unos resultados de error medio inferiores a la precisión del escáner de referencia por lo que la reconstrucción lograda mediante fotogrametría sería lo suficientemente precisa.

10

En el caso del modelo 2, como se muestra en la tabla 10, la desviación calculada se situaría por encima del valor de 15 micras del escáner de referencia, si bien se logró captar más detalle usando fotogrametría. También cabe destacar que el escáner tuvo muchos

problemas para digitalizar este modelo y hubo que combinar distintos escaneos mediante el software Meshmixer hasta conseguir una malla completa, por lo que se pudieron introducir errores indeseados (algunas zonas quedaron bien reconstruidas mediante fotogrametría y no mediante el escáner láser).

- 5 En lo que respecta al modelo 3, en la tabla 11 podemos los resultados obtenidos han sido mucho peores que en el resto de los modelos en lo que respecta a precisión. Esto es debido principalmente a que las dos partes de la pinza cambiaron de posición entre ambos escaneados y, aunque se intentó corregir editando las mallas en Meshmixer, no se logró alinear del todo bien ambas reconstrucciones. Es destacable, no obstante, que el método
- 10 fotogramétrico logró capturar exitosamente el muelle metálico, no así el escaneado láser, pese a que el objeto fue pintado de blanco. El método fotogramétrico también logró texturas de gran calidad, dotando a este modelo tridimensional de gran realismo.

- Los datos reflejados en la tabla 12 muestran que en el modelo 4 se han logrado obtener unos resultados excepcionalmente buenos. Con una desviación respecto al escaneo de
- 15 referencia insignificante y un nivel de detalle mucho más elevado se puede decir que la técnica de fotogrametría ha obtenido mayor precisión que el escáner láser empleado.

- Los resultados demuestran el gran potencial de la fotogrametría de objeto cercano aplicada a modelos de pequeño tamaño. Con un equipo mucho más económico se han logrado obtener resultados equiparables e incluso mejores en algunos aspectos que con
- 20 un escáner 3D profesional.

- Mediante la plataforma rotatoria objeto de la presente invención se ha conseguido optimizar y simplificar el proceso de captura de imágenes y, mediante el análisis
- de los datos obtenidos, se ha comprobado que las imágenes capturadas usando este dispositivo son perfectamente válidas para poder reconstruir modelos de distintas
- 25 geometrías y características superficiales mediante fotogrametría de objeto cercano.

REIVINDICACIONES

1. Plataforma rotatoria automatizada para la reconstrucción tridimensional mediante fotogrametría caracterizada por que comprende una plataforma (5) integrada en una carcasa, dicha carcasa (i) comprendiendo una carcasa superior (4) y una carcasa inferior (7) así como unos laterales derecho (3) e izquierdo (6), y (ii) alojando:
 - medios para controlar el movimiento de rotación de la plataforma que a su vez comprenden un microcontrolador, elementos de un interfaz de usuario, un módulo regulador de voltaje, un módulo controlador de un motor a pasos, un motor a pasos con un piñón y un engranaje (9) conectados a un eje de rotación, y una fuente de alimentación; y
 - medios de comunicación con unos medios de adquisición de imágenes, dichos medios de adquisición de imágenes externos e independientes de la plataforma (5) y de la carcasa.
2. Plataforma rotatoria automatizada según la reivindicación anterior caracterizada por que la fuente de alimentación consiste en una batería de litio.
3. Plataforma rotatoria automatizada según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizada por que el motor a pasos con el piñón y el engranaje están conectados al eje de rotación mediante imanes.
4. Plataforma rotatoria automatizada según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizada por que el eje de rotación comprende dos semiejes (10).
5. Plataforma rotatoria automatizada según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizada por que comprende un botón (1) de encendido y apagado, y unas perillas (2) para regular el movimiento de rotación de la plataforma.

25

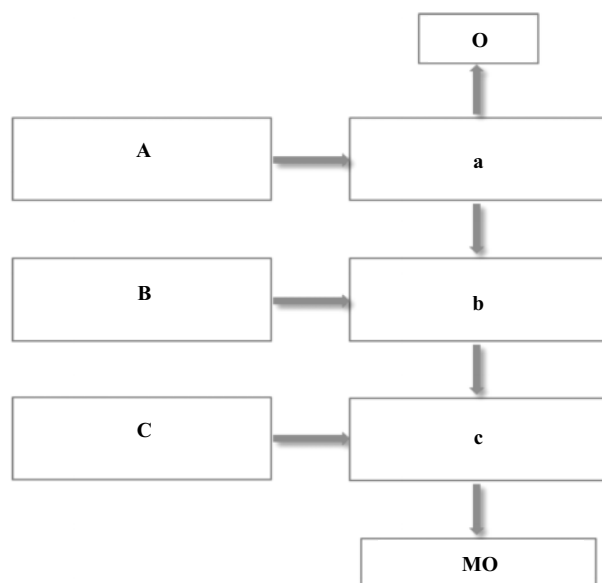


Figura 1

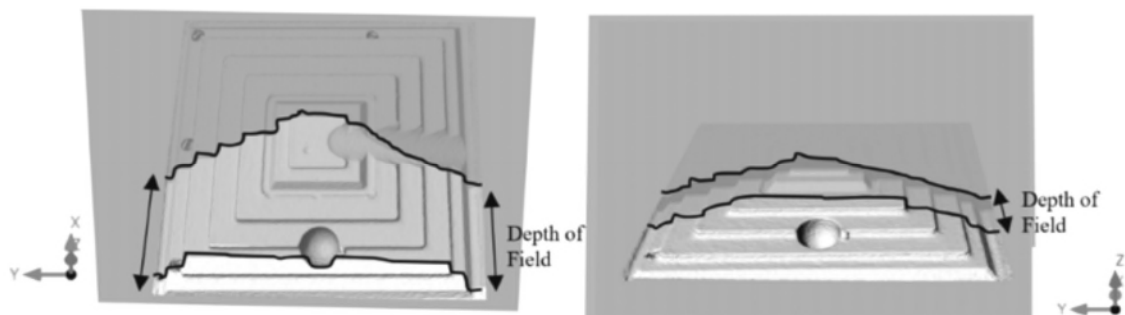


Figura 2

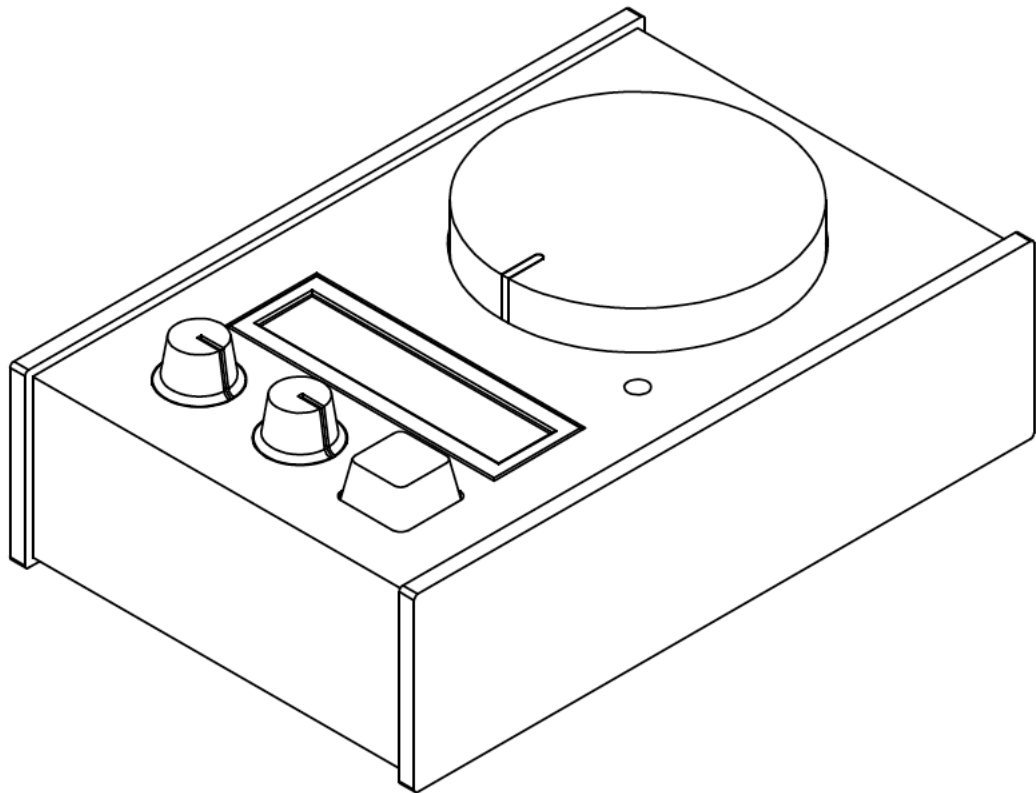


Figura 3

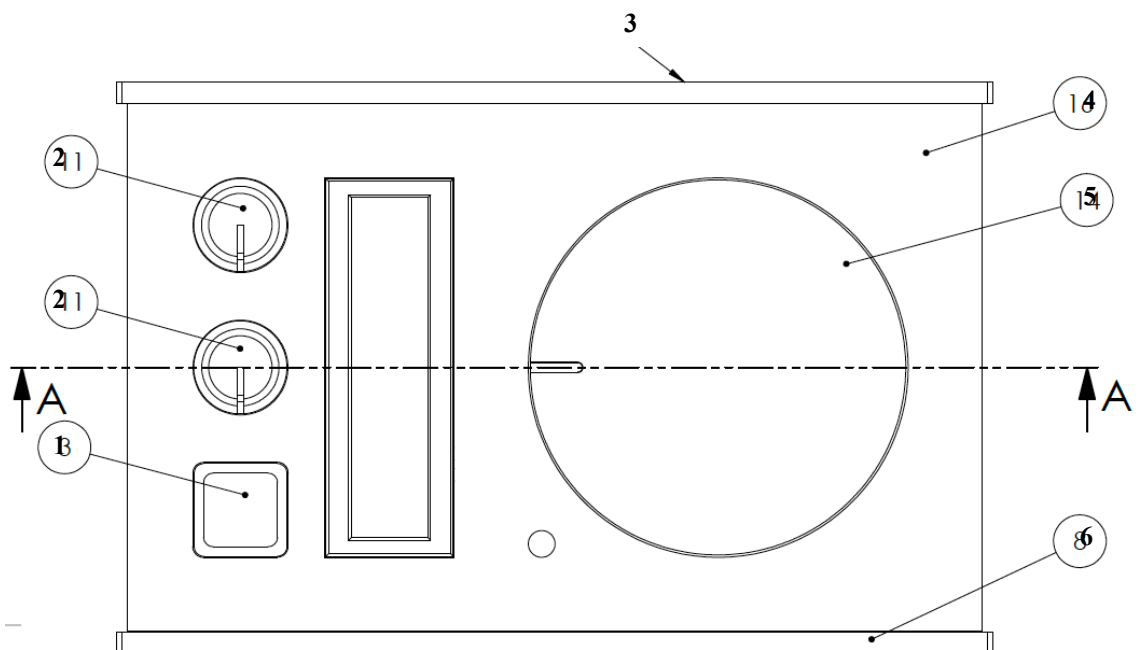


Figura 4

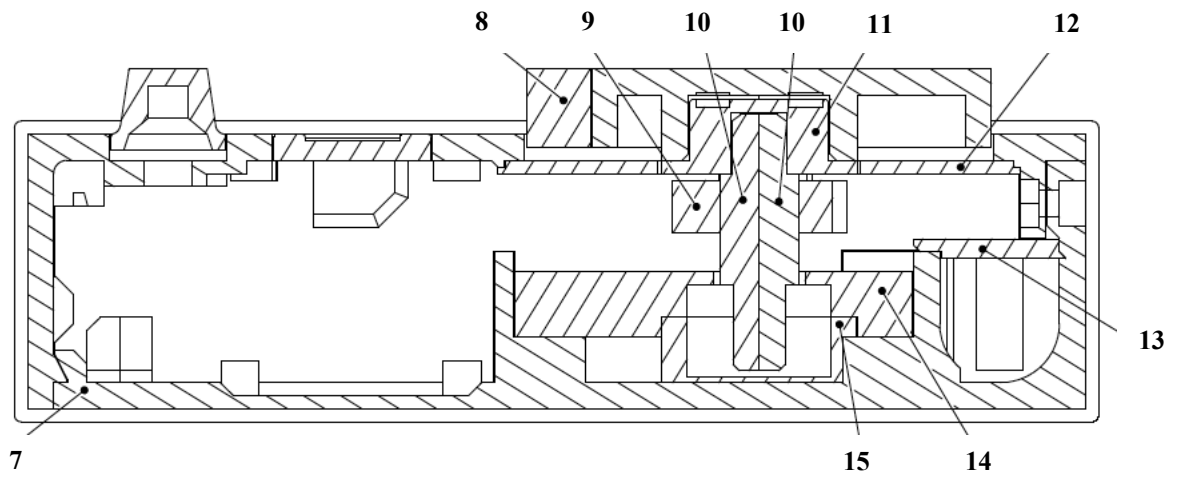


Figura 5

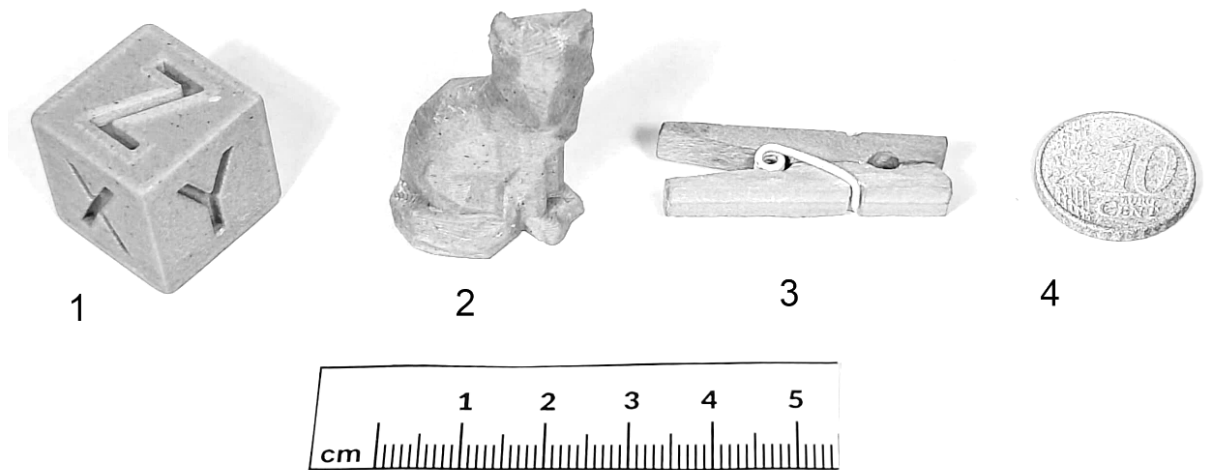


Figura 6